

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОДОЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА РАЗРЕШАЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ЭЛЕКТРОННОГО ИНТРОСКОПА

В. И. ГОРБУНОВ, Д. И. СВИРЯКИН, К. Б. УМБЛИА

Электронно-оптическое отображение картины пространственного распределения поглощенной в объекте контроля энергии электронного потока на люминесцентный экран электронного интроскопа [1], можно рассматривать как передачу сообщений. Поэтому здесь применимы положения теории информации. Электронный поток, прошедший через объект исследования, обладает информационной избыточностью, так как содержит в себе малоинформативный фон и информацию о неоднородностях, обусловленных технологическими и конструктивными особенностями объекта. Однако принятые в электронном интроскопе аналоговые преобразования информации обладают тем преимуществом, что они не разрушают структуру изображения, сохраняя возможность ее непосредственного восприятия. Конфигурацию поля электронно-оптического показателя преломления в электростатических и электромагнитных линзах можно существенно изменять перераспределением напряжений между электродами и токов в секциях обмотки. Это позволяет упростить и сделать легко управляемым процесс преобразования. Но вместе с тем возможности чисто электронно-оптических (одновременных) преобразований ограничены. Поэтому для получения качественного воспроизведения практический интерес представляет только стигматическое отображение — когда каждая точка предметной плоскости изображается на плоскости воспроизведения тоже точкой. Стигматические изображения допускают лишь афинные преобразования. Это значит, что изображения можно смещать, поворачивать, изменять масштаб, растягивать или сжимать в двух взаимно перпендикулярных направлениях, но не более. Проективные преобразования, столь нужные, например, для исправления перспективных искажений, произвести нельзя, не нарушив точечного соответствия между предметом и изображением. Тем более недоступны иные нелинейные геометрические преобразования без существенного ухудшения качества изображения.

Возможности геометрических преобразований однако расширяются, если отказаться от требований непрерывности изображения и одновременности преобразования. В электронно-лучевых системах с последовательной разверткой можно раздельно исправлять аберрации и производить геометрические преобразования. Но главный недостаток преобразований такого рода в том, что они производятся уже после того, как видеосигнал сформирован, а следовательно, в преобразуемое изображение замешаны шумы цепей коммутации и формирования. В силу всего вышесказанного при разработке электронных интроскопов пред-

почтение было отдано электронно-оптическому преобразованию, позволяющему простыми средствами выделить признаки зрительных образов, существенные для распознавания при визуальном анализе изображений [2]. В любой системе передачи визуальной информации одним из наиболее важных параметров является разрешающая способность или пространственно-частотная характеристика, которая выражается произведением характеристик, отдельных ее звеньев. Анализируя независимо каждое из звеньев, можно определить его вклад в общую характеристику и, в частности, выделить наиболее «слабые» звенья и произвести коррекцию их характеристик. Звеном, требующим коррекции пространственно-частотной характеристики, в электронном интроскопе является промежуток между объектом исследования и люминесцентным преобразующим экраном. Электроны пучка, пройдя сквозь объект, претерпевают угловое рассеяние, поэтому с увеличением расстояния от задней стенки объекта до экрана изображение, которое формируется электронным потоком на экране, все больше размывается. Вследствие этого между требованиями получения максимального контраста изображения и получения наибольшей разрешающей способности возникает противоречие. Для улучшения контраста необходимо отсечь низкоэнергетическую компоненту электронного потока [2], что достигается установкой электростатических линз, формируемых сетками, на которые поданы соответствующие потенциалы, то есть для размещения сеток необходимо увеличить расстояние между задней стенкой исследуемого объекта и экраном, а для повышения разрешающей способности интроскопа необходимо уменьшать это расстояние. Отсюда следует, что в систему необходимо ввести элемент, который позволил бы при наличии энергетического селектора электронов сохранить разрешающую способность интроскопа. Таким элементом может быть соленоид, создающий однородное продольное постоянное магнитное поле, пересекающее объект исследования, сетки селектора и преобразующий экран (рис. 1).

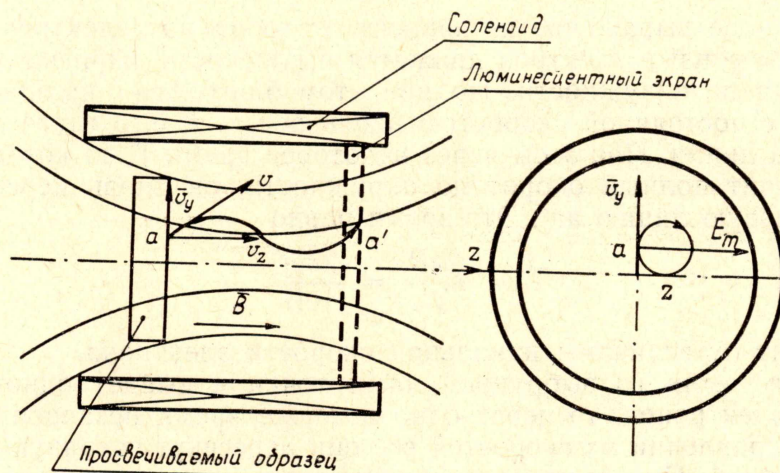


Рис. Схема движения электрона, прошедшего через просвечиваемый объект, в магнитном поле соленоида.

Магнитное поле взаимодействует лишь с движущимся электроном, вектор скорости которого не параллелен силовым линиям магнитного поля. Сила, действующая на электрон, определяется выражением

$$F = m \frac{dV}{dt} = -e [V \times B],$$

где B — вектор индукции магнитного поля;
 V — вектор скорости электрона;

m — масса электрона;

e — заряд электрона.

Магнитное поле внутри катушки в области, достаточно удаленной от ее краев, можно считать однородным, т. е. индукция поля имеет одну составляющую B_z . Выберем на внутренней поверхности образца точку a и будем считать, что она является источником электронов. Пусть электрон входит в поле в плоскости чертежа, имея скорость $V = V_z + V_y$.

Составляющая скорости V_z параллельна направлению силовых линий поля. Следовательно, она не будет вызывать взаимодействия электрона с полем, и электрон будет равномерно перемещаться вдоль оси Z . Компонента же скорости V_y перпендикулярна направлению B и будет определять силу, действующую на электрон в первый момент, очевидно, перпендикулярно плоскости чертежа по направлению к наблюдателю. Численно величина этой силы может быть выражена как

$$F_m = e \cdot V_y \cdot B.$$

Эта сила будет искривлять траекторию электрона и, следовательно, являться центростремительной силой $F_{ц}$, которая, как известно из механики, определяется формулой

$$F_{ц} = -\frac{mV_y^2}{R},$$

где R — радиус кривизны траектории в данной точке. Следовательно,

$$eV_y B = -\frac{mV_y^2}{R}.$$

Отсюда получаем выражение для радиуса кривизны траектории электрона в виде

$$R = \frac{mV_y}{eB}.$$

Полученное выражение не зависит от координат электрона, следовательно, $R = \text{const}$ и электрон движется в плоскости, перпендикулярной оси катушки по окружности. Но при этом благодаря наличию V_z он смещается с постоянной скоростью вдоль оси z , т. е. в итоге движется по винтовой линии. При этом через некоторое время T , за которое электрон совершит полный оборот по окружности, он вновь пересечет исходную силовую линию aa' . Это время равно

$$T = \frac{2\pi R}{V_y} = \frac{2\pi m}{eB}$$

и не зависит от величины начальной скорости электрона.

Поэтому, если из выбранной нами точки a выйдет одновременно несколько электронов, то через одно и то же время независимо от величин и направлений их скоростей все они пересекут исходную силовую линию поля aa' . При этом из-за различных осевых составляющих скоростей электронов все они пересекут эту силовую линию в разных точках.

Представим теперь себе, что пучок электронов, входящий в поле в точке a , является монохроматическим. Это значит, что скорости всех электронов одинаковы и параксиальны, что дает право величину полной скорости принять равной ее компоненте V_z . Тогда такой электронный пучок, выйдя из точки a через время T , вновь сойдется в точке a' на расстоянии $V_z T$ от точки a . Следовательно, точку a' можно считать электронным изображением точки a .

Такие изображения исходной точки будут, очевидно, получаться через одинаковые интервалы вдоль силовой линии, пока поле остается

однородным. Все сказанное справедливо для любой точки, расположенной в плоскости, перпендикулярной оси и проходящей через точку. Поэтому, если в этой плоскости расположен объект, испускающий электроны, то на расстояниях $V_z T$ от этой плоскости каждая точка объекта так же изобразится точкой. Можно сказать, что такая длинная магнитная линза осуществляет перенос изображения параллельно самому себе.

Магнитную фокусировку, как указывалось выше, следует применять в сочетании с устройством селекции электронов по скоростям V_z . Чем выше уровень отсечки, тем меньше разброс электронов по скоростям и, следовательно, тем выше разрешающая способность электронно-оптической системы. Кроме того, следует отметить, что достаточно сильное магнитное поле в значительной степени уменьшает рассеяние электронного пучка при прохождении им немагнитного образца и люминесцентного слоя экрана и тем шире пространственно-частотная характеристика интроскопа.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Бойко, В. И. Горбунов, В. В. Евстигнеев, Д. И. Сви-
рякин. Бетатронный электронный интроскоп. «Дефектоскопия», 1973, № 6.
2. В. И. Горбунов, Д. И. Свириякин, К. Б. Умблиа, В. В. Ев-
стигнеев. О повышении контраста электронного изображения путем отсечки
медленных электронов. Настоящий сборник.